

## Chương 4

# BỘ NGHỊCH LƯU (NGHỊCH LƯU NGUỒN ÁP)

1

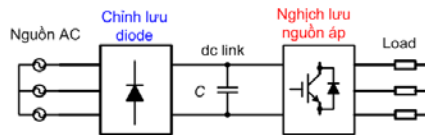
## Giới thiệu

- **Bộ nghịch lưu (inverter)**
  - Ngõ vào: Điện áp DC
  - Ngõ ra: Điện áp (hoặc dòng điện) AC thay đổi được tần số và biên độ
  - Sử dụng linh kiện bán dẫn công suất
- **Phân loại theo cấu hình:**
  - Nghịch lưu nguồn áp
  - Nghịch lưu nguồn dòng
- **Phân loại theo tín hiệu điều khiển:**
  - Điều khiển kiểu sóng vuông
  - Điều khiển kiểu điều rộng xung (PWM)
- **Ứng dụng:**
  - Truyền động điện động cơ xoay chiều
  - Trong lĩnh vực gia nhiệt cảm ứng (máy hàn điện, lò nung cao tần, v.v....)
  - Trong lĩnh vực truyền tải điện, chiếu sáng, v.v...

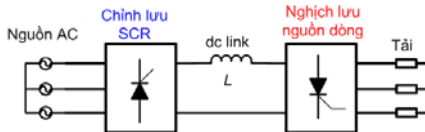
2

## Giới thiệu

- **Nghịch lưu nguồn áp** (Voltage Source Inverter – VSI): Bộ nghịch lưu được cấp nguồn từ nguồn điện áp. Điện áp ra được điều khiển bởi tín hiệu kích (điều khiển) bộ nghịch lưu, dòng ra phụ thuộc vào tải. Bộ nghịch lưu kiểu này phù hợp với tải có tính cảm kháng.

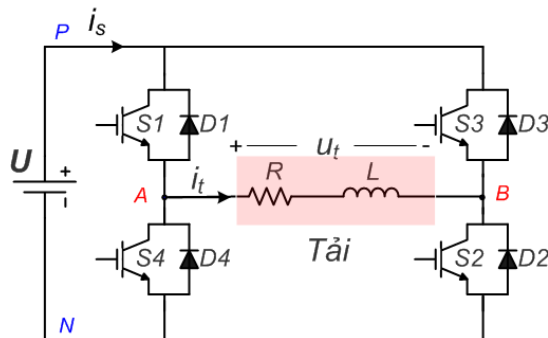


- **Nghịch lưu nguồn dòng** (Current Source Inverter – CSI): Bộ nghịch lưu được cấp nguồn từ nguồn dòng điện. Dòng điện ở ngõ ra được điều khiển bởi tín hiệu kích (điều khiển) bộ nghịch lưu, điện áp ra phụ thuộc vào tải. Bộ nghịch lưu kiểu này phù hợp với tải có tính dung kháng.



3

## Bộ nghịch lưu áp một pha



Cấu hình bộ nghịch lưu áp một pha

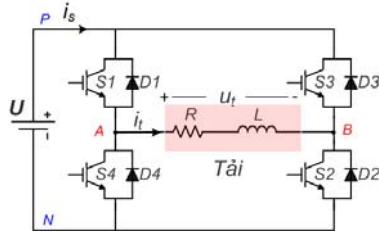
Nguyên tắc kích:

- Hai công tắc bán dẫn trên cùng một nhánh cầu (S1 & S4, S3 & S2) được kích đối nghịch nhau
- Không có trường hợp hai công tắc trên cùng một nhánh cầu cùng dẫn hoặc cùng tắt

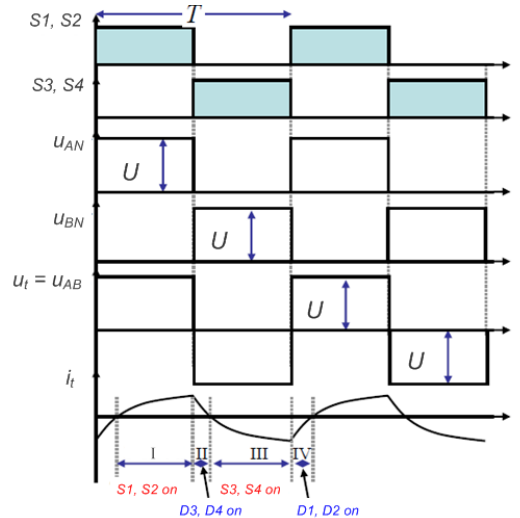
4

## Bộ nghịch lưu áp một pha

Điều khiển kiểu sóng vuông



- Khoảng I: S1, S2 được kích, dòng điện đi theo chiều:  $U+ \rightarrow S1 \rightarrow \text{Tải} \rightarrow S2 \rightarrow U-$
- Khoảng II: S3, S4 được kích dòng điện đi theo chiều:  $U- \rightarrow D4 \rightarrow \text{Tải} \rightarrow D3 \rightarrow U+$
- Khoảng III: S3, S4 được kích dòng điện đi theo chiều:  $U+ \rightarrow S3 \rightarrow \text{Tải} \rightarrow S4 \rightarrow U-$
- Khoảng IV: S1, S2 được kích, dòng điện đi theo chiều:  $U- \rightarrow D2 \rightarrow \text{Tải} \rightarrow D1 \rightarrow U+$



5

## Bộ nghịch lưu áp một pha

Nghịch lưu áp một pha điều khiển đơn giản:

Có thể chứng minh được dòng tải trong một chu kỳ hoạt động được biểu diễn như sau:

$$i_t = \begin{cases} \frac{U}{R} + \left( I_{\min} - \frac{U}{R} \right) e^{-\frac{t}{2\tau}} & 0 \leq t < \frac{T}{2} \\ -\frac{U}{R} + \left( I_{\max} + \frac{U}{R} \right) e^{-\frac{t-T/2}{2\tau}} & \frac{T}{2} \leq t < T \end{cases}$$

Ở chế độ xác lập:  $I_{\max} = -I_{\min}$ .

Áp dụng quan hệ trên vào các hệ thức tính I, ta thu được:

$$I_{\max} = -I_{\min} = \frac{U}{R} \left[ \frac{1 - e^{-\frac{T}{2\tau}}}{1 + e^{-\frac{T}{2\tau}}} \right]$$

6

## Bộ nghịch lưu áp một pha

Điều khiển kiểu sóng vuông

Phân tích Fourier của điện áp ngõ ra dạng xung vuông:

$$u_i(t) = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{4U}{n\pi} \cdot \sin(n\omega t)$$

Áp tải chỉ chứa các thành phần hài bậc lẻ.

Độ méo dạng điện áp được tính theo hệ thức sau:

$$THD_U = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_{t(n)}^2}}{U_{t(1)}} = \frac{\sqrt{U_t^2 - U_{t(1)}^2}}{U_{t(1)}}$$

Từ đó suy ra hệ số méo dạng của nghịch lưu cầu 1 pha dạng xung vuông:

$$THD_U = \frac{\sqrt{U_t^2 - U_{t(1)}^2}}{U_{t(1)}} = \frac{\sqrt{U^2 - \left(\frac{4}{\pi\sqrt{2}}U\right)^2}}{\frac{4}{\pi\sqrt{2}}U} = 0,483 = 48,3\% ; U_t = U$$

7

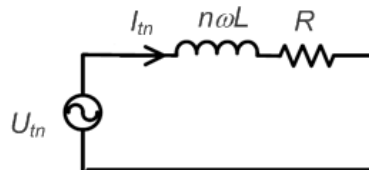
## Bộ nghịch lưu áp một pha

Điều khiển kiểu sóng vuông

Với tải RL, dòng tải có thể tính theo công thức sau:

$$i_i(t) = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{4U}{n\pi\sqrt{R^2 + (n\omega L)^2}} \sin(n\omega t - \theta_n)$$

Trong đó:  $\theta_n = \tan^{-1}(n\omega L/R)$



Mạch tương đương của tải R + L với sóng hài bậc n

8

## Bộ nghịch lưu áp một pha

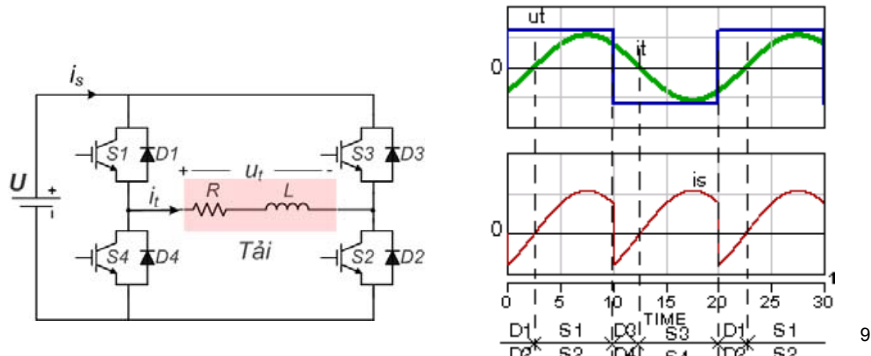
### Ví dụ 5.5:

Cho bộ nghịch lưu áp dạng cầu một pha với dạng sóng điện áp cho trên hình.

Giả thiết dòng điện qua tải có dạng  $i_t = 540 \sin(\omega t - \pi/4)$ .

Nguồn DC có độ lớn 300V.

- Vẽ dạng sóng dòng tải và dòng qua nguồn và xác định khoảng dẫn của từng linh kiện.
- Xác định trị trung bình dòng qua nguồn và công suất do nguồn cung cấp.
- Xác định công suất tiêu thụ của tải.



## Bộ nghịch lưu áp một pha

- Dạng sóng dòng tải và dòng nguồn vẽ trên hình

- Dòng trung bình qua nguồn:

$$I_{sAV} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} 540 \cdot \sin(\omega t - \frac{\pi}{4}) \cdot d(\omega t) = 243,1A$$

Công suất nguồn cung cấp:

$$P_s = 300 \cdot 243,1 = 72.930W = 72,93kW$$

- Trị hiệu dụng thành phần hài cơ bản áp ra:

$$U_{t(1)} = \frac{4U}{\pi\sqrt{2}} = \frac{400 \cdot 300}{\pi\sqrt{2}} = 270,14V$$

$$P_t = U_{t(1)} \cdot I_{t(1)} \cdot \cos \varphi_1 = 270,14 \cdot \frac{540}{\sqrt{2}} \cdot \cos \frac{\pi}{4} = 72.930W = 72,93kW$$

## Bộ nghịch lưu áp một pha

### Ví dụ 5.6:

Bộ nghịch lưu áp một pha mắc vào nguồn một chiều  $U$ .

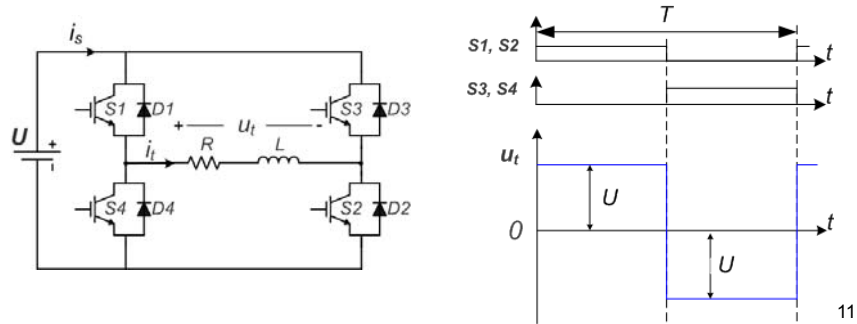
Tải  $R = 10\Omega$ ,  $L = 0,01H$ .

Bộ nghịch lưu áp được điều khiển theo phương pháp điều biên.

a- Tính độ lớn nguồn  $U$  để trị hiệu dụng áp tải  $U_t = 100V$ .

b- Với áp nguồn xác định ở câu a. Tính trị hiệu dụng hài cơ bản của điện áp ngõ ra.

c- Tính trị hiệu dụng dòng tải.



11

## Bộ nghịch lưu áp một pha

### Giải:

a/- Trị hiệu dụng áp tải:  $U_{\text{rms}} = U = 100V$

Vậy cần có áp nguồn  $U = 100V$

b/- Áp dụng phân tích Fourier cho áp tải  $u_t$ , biên độ của sóng hài bậc  $n$  của áp ra:

$$U_n = \frac{4U}{n\pi}, n = 1, 3, 5, 7...$$

Trị hiệu dụng sóng hài cơ bản ( $n = 1$ ) của áp tải:

$$U_{(1)} = \frac{U_1}{\sqrt{2}} = \frac{4 \cdot U}{\pi \cdot \sqrt{2}} = 90,03[V]$$

12

## Bộ nghịch lưu áp một pha

c/- Trị hiệu dụng dòng điện tải có thể tính theo hệ thức:

$$I_t = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i_t^2 dx}$$

Để không phải giải phương trình xác định dòng  $i_t$ , ta có thể áp dụng công thức sau :

$$I_t = \left( \sum_{j=1}^{\infty} I_{t(j)}^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{Với } I_{t(n)} = \frac{U_{t(n)}}{Z_{(n)}} = \frac{\frac{4U}{n\pi\sqrt{2}}}{\sqrt{R^2 + (n\omega L)^2}}$$

Ta thấy bậc  $n$  của sóng hài bậc cao, trị hiệu dụng của dòng điện tương ứng càng thấp.

Do đó, ta có thể tính  $i_t$  gần đúng thông qua vài hài bậc thấp. Ví dụ chọn  $n = 1, 3, 5, \dots$

$U_{t(k)}$	$U_{t(1)}$ [A]	$U_{t(3)}$	$U_{t(5)}$	$U_{t(7)}$	$U_{t(9)}$	$U_{t(11)}$
[V]	87,828	29,27	17,56	12,54	9,75	7,98
$I_{t(m)}$	$I_{t(1)}$ [A]	$I_{t(3)}$	$I_{t(5)}$	$I_{t(7)}$	$I_{t(9)}$	$I_{t(11)}$
[A]	8,37	2,13	0,94	0,51	0,325	0,22

Tính gần đúng  $I_t$  qua hài dòng bậc 1, 3, 5:

$$I_t \approx \left( I_{t(1)}^2 + I_{t(3)}^2 + I_{t(5)}^2 \right)^{\frac{1}{2}} = 8,72 \text{ [A]}$$

13

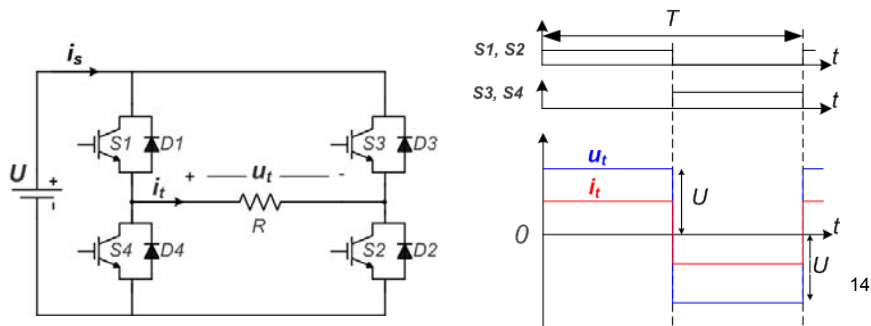
## Bộ nghịch lưu áp một pha

### Ví dụ 5.8:

Cho bộ nghịch lưu áp một pha dạng mạch cầu.

Tải thuần trở  $R = 2,4\Omega$  ; điện áp nguồn một chiều  $U = 48V$ .

- Tính trị hiệu dụng hài cơ bản của áp ra.
- Tính công suất trung bình của tải.
- Tính trị trung bình và trị tức thời lớn nhất của dòng điện qua transistor.
- Xác định điện áp khóa lớn nhất đặt lên transistor.
- Tính hệ số méo dạng của áp ra.



14

## Bộ nghịch lưu áp một pha

**Giải:**

a.  $U_{t(1)} = \frac{4U}{\pi\sqrt{2}} = \frac{4 \cdot 48}{\pi\sqrt{2}} = 43,2[V]$

b. Công suất trung bình của tải :

$$P_t = \frac{U_t^2}{R} = \frac{\left( \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u_t^2 \cdot dx \right)^{\frac{1}{2}}}{R} = \frac{U^2}{R} = \frac{48^2}{2,4} = 960 \text{ [w]}$$

c. Trị trung bình dòng qua transistor:

$$I_{TAV} = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi \frac{U}{R} dx = \frac{U}{2R} = 10[A]$$

Trị tức thời lớn nhất của dòng qua transistor:

$$i_{Tmax} = \frac{U}{R} = \frac{48}{2,4} = 20[A]$$

15

## Bộ nghịch lưu áp một pha

d. Điện áp khóa lớn nhất đặt lên transistor xảy ra khi transistor cùng nhánh dẫn ví dụ khi S<sub>4</sub> dẫn (U<sub>T4</sub>=0):

$$u_{T1} = U - u_{T4} = U = 48[V]$$

e. Hệ số méo dạng của áp ra:

$$THD_U = \frac{\left( \sum_{k=2}^{\infty} U_{t(k)}^2 \right)^{\frac{1}{2}}}{U_{t(1)}} = \frac{\left( U_t^2 - U_{t(1)}^2 \right)^{\frac{1}{2}}}{U_{t(1)}}$$

với  $U_t = 48 [V]$ ,  $U_{t(1)} = 43,2 [V]$

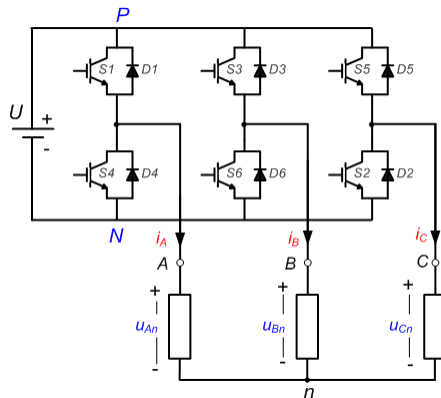
$$\text{Ta được: } THD_U = \frac{\left( 48^2 - 43,2^2 \right)^{\frac{1}{2}}}{43,2} = 0,484$$

16

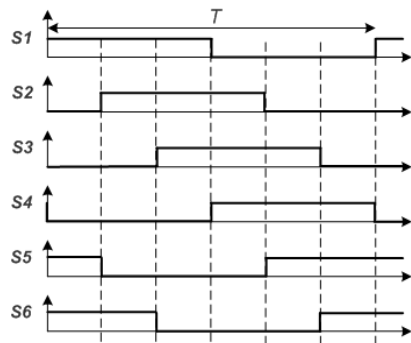


## Bộ nghịch lưu áp ba pha

Điều khiển kiểu sóng vuông (six-step inverter)



Cấu hình bộ nghịch lưu ba pha

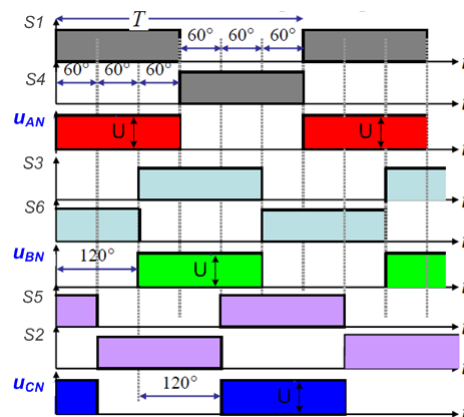
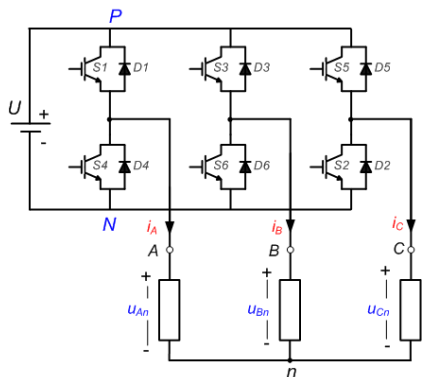


Dạng xung điều khiển kiểu sóng vuông

17

## Bộ nghịch lưu áp ba pha

Điều khiển kiểu sóng vuông (six-step inverter)

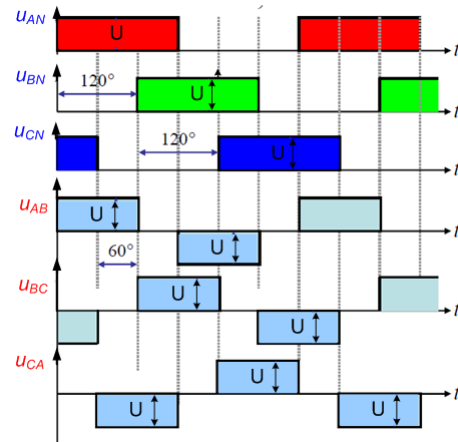
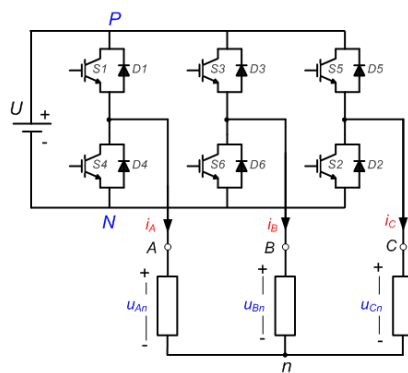


Dạng điện áp điều khiển và điện áp tại các ngõ ra (so với điểm N của nguồn U)

18

## Bộ nghịch lưu áp ba pha

Điều khiển kiểu sóng vuông (six-step inverter)



Lưu ý:

- $u_{AB} = u_{AN} - u_{BN}$
- $u_{BC} = u_{BN} - u_{CN}$
- $u_{CA} = u_{CN} - u_{AN}$

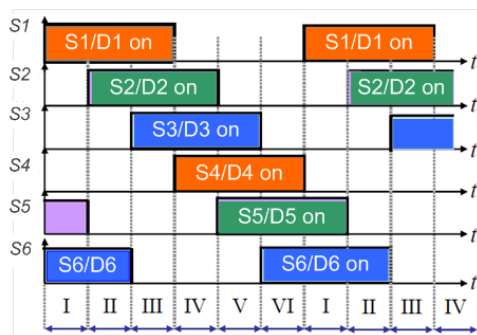
Dạng điện áp dây tại ngõ ra của bộ nghịch lưu

19

## Bộ nghịch lưu áp ba pha

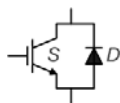
Điều khiển kiểu sóng vuông (six-step inverter)

Xét trường hợp tải đấu sao (Y)



Lưu ý:

- Khoảng I: S1/D1, S5/D5 và S6/D6 dẫn
- Khoảng II: S1/D1, S2/D2 và S6/D6 dẫn
- Khoảng III: S1/D1, S2/D2 và S3/D3 dẫn
- Khoảng IV: S2/D2, S3/D3 và S4/D4 dẫn
- Khoảng V: S3/D3, S4/D4 và S5/D5 dẫn
- Khoảng VI: S4/D4, S5/D5 và S6/D6 dẫn



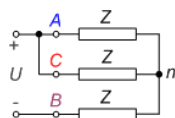
= khi S được kích dẫn, mạch tương đương khóa bán dẫn cho phép dòng chạy qua theo cả 2 chiều.

20

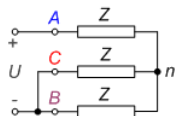
## Bộ nghịch lưu áp ba pha

Điều khiển kiểu sóng vuông (six-step inverter)

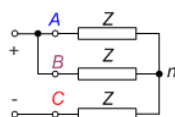
Xét trường hợp tải đầu sao (Y)



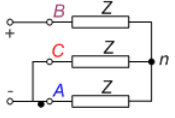
**Khoảng I:** S1, S5 và S6 được kích  
 $u_{An} = u_{Cn} = (1/3)U$ ;  $u_{Bn} = (-2/3)U$



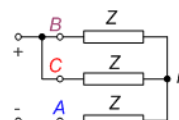
**Khoảng II:** S1, S2 và S6 được kích  
 $u_{An} = (2/3)U$ ;  $u_{Bn} = u_{Cn} = (-1/3)U$



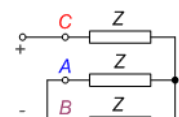
**Khoảng III:** S1, S2 và S3 được kích  
 $u_{An} = u_{Bn} = (1/3)U$ ;  $u_{Cn} = (-2/3)U$



**Khoảng IV:** S2, S3 và S4 được kích  
 $u_{An} = u_{Cn} = (-1/3)U$ ;  $u_{Bn} = (2/3)U$



**Khoảng V:** S3, S4 và S5 được kích  
 $u_{An} = (-2/3)U$ ;  $u_{Bn} = u_{Cn} = (1/3)U$



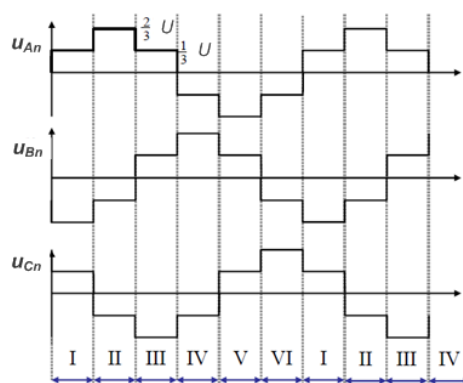
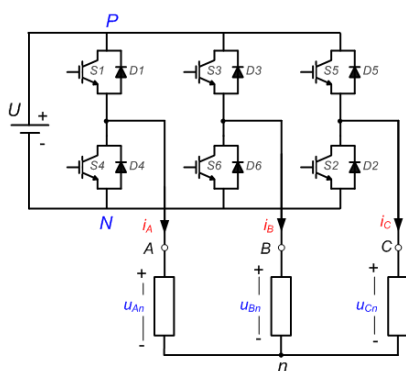
**Khoảng VI:** S4, S5 và S6 được kích  
 $u_{An} = u_{Bn} = (-1/3)U$ ;  $u_{Cn} = (2/3)U$

21

## Bộ nghịch lưu áp ba pha

Điều khiển kiểu sóng vuông (six-step inverter)

Xét trường hợp tải đầu sao (Y)



Dạng điện áp pha trên tải

22

## Bộ nghịch lưu áp ba pha

Điều khiển kiểu sóng vuông (six-step inverter)

Xét trường hợp tải đấu sao (Y)

### Phân tích sóng hài điện áp:

Phân tích Fourier của điện áp pha ( $u_{A1} = u_{t1}$ ,  $u_{B1} = u_{t2}$ ,  $u_{C1} = u_{t3}$ ):

$$u_{t1}(t) = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{4U}{\sqrt{3}n\pi} \sin \frac{n\pi}{3} \sin n\omega t$$

$$u_{t2}(t) = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{4U}{\sqrt{3}n\pi} \sin \frac{n\pi}{3} \sin n(\omega t - \frac{2\pi}{3})$$

$$u_{t3}(t) = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{4U}{\sqrt{3}n\pi} \sin \frac{n\pi}{3} \sin n(\omega t + \frac{2\pi}{3})$$

Áp tải chỉ chứa các thành phần hài bậc lẻ ( $n = 1, 3, 5, \dots$ ).

Trị hiệu dụng của áp pha tải:  $U_{t,rms} = \frac{\sqrt{2}}{3} U$

Biên độ sóng hài bậc n của áp pha tải:  $U_n = \frac{4U}{\sqrt{3}n\pi} \sin \frac{n\pi}{3}$

Với  $n=1$ , biên độ hài cơ bản (hài bậc 1) của áp pha tải:  $U_{1m} = \frac{2}{\pi} U$

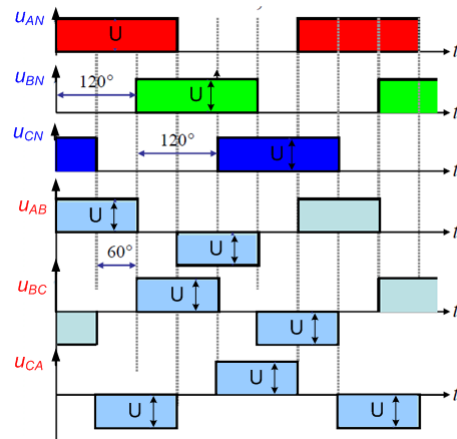
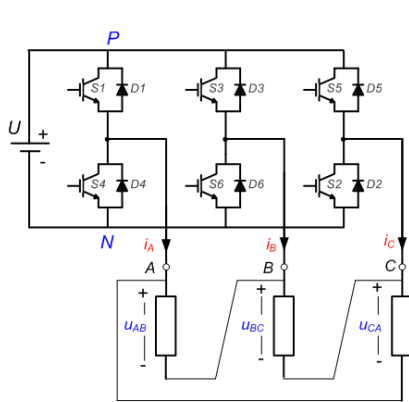
Trị hiệu dụng của hài bậc 1 của áp pha tải:  $U_{1,rms} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U$

23

## Bộ nghịch lưu áp ba pha

Điều khiển kiểu sóng vuông (six-step inverter)

Xét trường hợp tải đấu tam giác ( $\Delta$ )



Dạng điện áp dây tại ngõ ra của bộ nghịch lưu  
(Cũng là điện áp pha trên tải)

24

## Bộ nghịch lưu áp ba pha

Điều khiển kiểu sóng vuông (six-step inverter)

Xét trường hợp tải đầu tam giác ( $\Delta$ )

Phân tích Fourier của điện áp trên mỗi pha của tải ( $u_{AB} = u_{t1}$ ,  $u_{BC} = u_{t2}$ ,  $u_{CA} = u_{t3}$ ), đây cũng là điện áp dây tại ngõ ra của bộ nghịch lưu:

$$u_{t1}(t) = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{4U}{n\pi} \sin \frac{n\pi}{3} \sin \left( n\omega t + \frac{\pi}{6} \right)$$

$$u_{t2}(t) = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{4U}{n\pi} \sin \frac{n\pi}{3} \sin \left( n\omega t - \frac{\pi}{2} \right)$$

$$u_{t3}(t) = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{4U}{n\pi} \sin \frac{n\pi}{3} \sin \left( n\omega t + \frac{7\pi}{6} \right)$$

Áp tải chỉ chứa các thành phần hài bậc lẻ ( $n = 1, 3, 5, \dots$ ).

Trị hiệu dụng của áp pha tải (áp dây của bộ nghịch lưu):  $U_{t,rms} = \sqrt{\frac{2}{3}} U$

Biên độ sóng hài bậc n của áp pha tải (áp dây của bộ nghịch lưu):  $U_n = \frac{4U}{n\pi} \sin \frac{n\pi}{3}$

Với  $n=1$ , biên độ hài bậc 1 của áp pha tải (áp dây của bộ nghịch lưu):  $U_{1m} = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} U$

Trị hiệu dụng hài bậc 1 của áp pha tải (áp dây của bộ nghịch lưu):  $U_{1,rms} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} U$

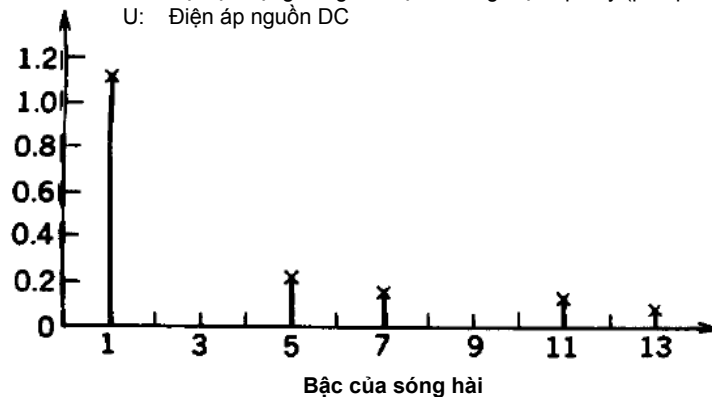
25

## Bộ nghịch lưu áp ba pha

Điều khiển kiểu sóng vuông (six-step inverter)

$U_{Ln}/U$

$U_{Ln}$ : Trị hiệu dụng sóng hài bậc n trong điện áp dây (pha-pha)  
 $U$ : Điện áp nguồn DC



Phổ tần sóng hài trong điện áp dây – điều khiển kiểu 6 bước

26

## Bộ nghịch lưu áp ba pha

Điều khiển kiểu sóng vuông (six-step inverter)

### Ví dụ 5.9:

Bộ nghịch lưu áp ba pha điều khiển kiểu 6 bước (six-step)

Tải thuần trở ba pha đối xứng đầu thành dạng sao.

Độ lớn điện trở mỗi pha  $R = 10\Omega$ .

Tần số làm việc của bộ nghịch lưu áp  $f = 50\text{Hz}$ .

Điện áp nguồn một chiều  $U = 220\text{V}$ .

- Xác định trị hiệu dụng điện áp ra ;
- Viết phương trình sóng hài bậc 1 của điện áp tải và dòng tải ;
- Tính công suất tải ;
- Tính hệ số biến dạng của áp ra .
- Tính trị trung bình dòng điện qua transistor .

27

## Bộ nghịch lưu áp ba pha

Điều khiển kiểu sóng vuông (six-step inverter)

### Giải:

- a. Trị hiệu dụng áp pha:

$$U_t = \frac{\sqrt{2}}{3} \cdot U = \frac{\sqrt{2}}{3} \cdot 220 = 103,7[\text{V}]$$

- b. Biên độ sóng hài bậc một của áp:

$$U_{t(1)m} = \frac{4 \cdot U}{\sqrt{3} \cdot \pi} \sin \frac{\pi}{3} = \frac{4}{\sqrt{3}} \cdot \frac{U}{\pi} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 0,6366 \cdot U = 0,6366 \cdot 220 = 140[\text{V}]$$

Phương trình sóng hài bậc một của áp tải - pha A

$$u_{At(1)} = 140 \cdot \sin(314t)$$

Phương trình sóng hài bậc một của dòng tải- pha A

$$i_{At(1)} = \frac{140}{R} \sin 314t = 14 \cdot \sin 314t$$

28

## Bộ nghịch lưu áp ba pha

Điều khiển kiểu sóng vuông (six-step inverter)

c. Vì tải thuần trở nên công suất tải cho bởi hệ thức :

$$P_t = 3 \cdot \frac{U_t^2}{R} = 3 \cdot \frac{103,7^2}{10} = 3226,1[W]$$

d. Hệ số méo dạng của áp ra:

$$THD_U = \frac{(U_t^2 - U_{t(1)}^2)^{\frac{1}{2}}}{U_{t(1)}} = \frac{\left(103,7^2 - \left(\frac{140}{\sqrt{2}}\right)^2\right)^{\frac{1}{2}}}{\left(\frac{140}{\sqrt{2}}\right)} = 0,312$$

e. Trị trung bình dòng điện ngõ vào bộ nghịch lưu :

$$I_C = \frac{P_t}{U} = \frac{3226,1}{220} = 14,664[A]$$

Các diode đối song với transistor không dẫn điện.

Mỗi transistor dẫn điện trong 1/3 chu kỳ với trị trung bình dòng điện qua nó bằng :

$$I_{TAV} = \frac{I_C}{3} = \frac{14,664}{3} = 4,888[A]$$